



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 23 260 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 05 D 1/02
B 62 D 6/00

②1 Aktenzeichen: 198 23 260.8
②2 Anmeldetag: 26. 5. 98
④3 Offenlegungstag: 9. 12. 99

DE 198 23 260 A 1

⑦1 Anmelder:
Rademacher, Wilhelm, 46414 Rhede, DE

⑦4 Vertreter:
Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr, Weidener,
Häkel, 45128 Essen

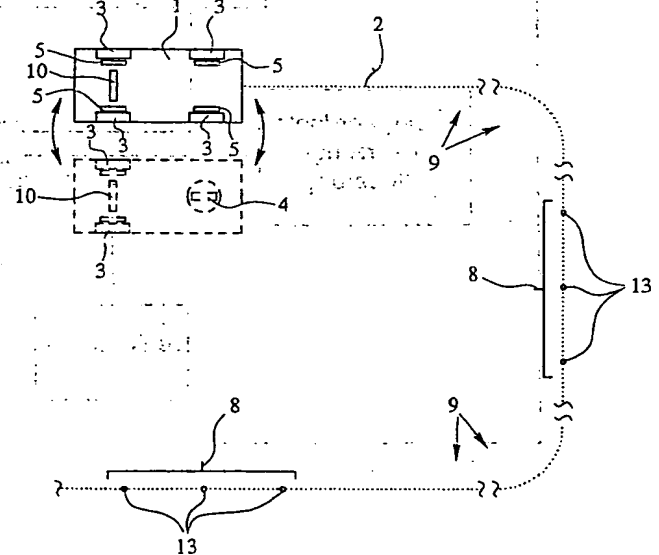
⑦2 Erfinder:
Beckmann, Robert, Dipl.-Ing., 48599 Gronau, DE;
Farwerk, Andreas, Dipl.-Ing., 48599 Gronau, DE;
Rademacher, Wilhelm, 46414 Rhede, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Fahrerloses Transportsystem

⑤7 Gegenstand der Erfindung ist ein fahrerloses Transportsystem zur Führung von fahrerlosen Transportfahrzeugen (1) beliebiger Radkonfiguration entlang einer virtuellen Bezugsbahn (2), wobei jedes Transportfahrzeug (1) eine Antriebseinrichtung, eine Lenkeinrichtung oder eine kombinierte Antriebs- und Lenkeinrichtung (6), sowie eine elektronische Bahnsteuerung (7) aufweist, mit bodeninstallierten Referenzmarken (8), die in erheblichem, jeweils ein Vielfaches des Fahrzeugradstandes betragenden Abständen entlang der Bezugsbahn (2) angeordnet sind und so Freifahrtschnitte (9) des Transportfahrzeuges (1) definieren. Dieses zeichnet sich dadurch aus, daß jede Referenzmarke (8) ihrerseits aus zwei diskreten, ungefähr entlang der Bezugsbahn (2) angeordneten Referenzelementen (13), insbesondere in Form von in den Boden eingelassenen oder aufgeklebten Magnetelementen besteht, daß der Abstand der Referenzelemente (13) einer Referenzmarke (8) untereinander klein gegen die Abstände der Referenzmarken (8) voneinander ist, daß am ersten Referenzelement (13) einer Referenzmarke (8) der Seitenversatz ermittelt und mittels des Steuerungsprogramms unter Vergleich mit den von einer odometrischen Einrichtung (11) ermittelten Daten eine entsprechende Lenkbewegung zur Korrektur dieses Seitenversatzes vorgegeben wird, daß das zweite Referenzelement (13) der Referenzmarke (8) angefahren und dort erneut der Seitenversatz ermittelt wird, daß aus dem Seitenversatz am ersten Referenzelement (13), ...



DE 198 23 260 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein fahrerloses Transportsystem zur Führung von fahrerlosen Transportfahrzeugen beliebiger Radkonfiguration entlang einer virtuellen Bezugsbahn mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1.

Fahrerlose Transportsysteme sind seit vielen Jahren in verschiedenen Ausführungsformen bekannt. Fahrerlose Transportsysteme spielen im Logistikkonzept für innerbetriebliche Transportvorgänge aufgrund ihrer spezifischen Vorteile eine wichtige Rolle. Als fahrerlose Transportsysteme bezeichnet man dabei innerbetriebliche flurgebundene Fördersysteme mit automatisch geführten Transportfahrzeugen. Solche Transportsysteme bestehen im wesentlichen aus den fahrerlosen Transportfahrzeugen, einer Bodenanlage und einer Steuerung. Die fahrerlosen Transportfahrzeuge selbst sind flurgebundene Fördermittel mit eigenem Fahrtrieb, die automatisch geführt und gesteuert zum Handhaben von Transportgut mit oder ohne Ladehilfsmittel eingesetzt werden (VDI-Richtlinie VDI 2510).

Fahrerlose Transportsysteme für die Automatisierung des innerbetrieblichen Materialflusses werden heutzutage zum überwiegenden Teil von induktiven bzw. optischen Leitlinien im oder auf dem Hallenboden geführt. Nachteilig bei den induktiven Leitlinien sind die hohen Kosten der Bodenanlagen, der hohe Montageaufwand und die geringe Flexibilität des Transportsystems hinsichtlich Ausweichmanövern der Transportfahrzeuge. Nachteilig bei optischen Leitlinien ist die Verschmutzungsempfindlichkeit und die Erfassungstechnik, im übrigen in gleicher Weise das Problem der Ausweichmöglichkeit für die Transportfahrzeuge selbst.

Mittlerweile hat sich auf dem Gebiet der fahrerlosen Transportsysteme daher das Prinzip der Koppelnavigation mit bodengestützter Referenzierung durchgesetzt (DE-C-42 32 171). Dieses Prinzip hat sich der Koppelnavigation mit Referenzierung durch einen Kreiselkompaß als überlegen erwiesen (DE-A-38 41 479).

Die Koppelnavigation ist ein Verfahren zur relativen Orientierung der Lage eines Transportfahrzeugs. Eine bestimmte gewünschte Bahn wird aus aneinandergereihten Wegstrecken und Kurvenabschnitten gebildet, wobei Richtung und Länge der Wegstrecken bekannt sind. Der Fahrweg des Transportfahrzeugs läßt sich aus den Radumdrehungen von vorzugsweise separaten Meßrädern ermitteln. Der Drehwinkel kann aus der Streckendifferenz parallel liegender Meßräder, mit geringerer Genauigkeit auch aus der Winkelstellung der Lenkachse und dem gefahrenen Weg eriechnet werden. Eine derartige Berechnung der Fahrzeuglage aus der Messung fahrzeuginterner ermittelter Daten, insbesondere der Radumdrehungen wird als Odometrie bezeichnet. Mit Hilfe der Odometrie kann man also theoretisch ein Transportfahrzeug genau auf einer virtuellen Bezugsbahn führen. Die Daten der virtuellen Bezugsbahn muß man in Sollwerte für die Antriebseinrichtung und die Lenkeinrichtung umrechnen. Aus den von der odometrischen Einrichtung fahrzeugintern ermittelten Daten berechnet man die Ist-Position. Über einen Soll-Ist-Vergleich kann dann genau die virtuelle Bezugsbahn abgefahren werden.

Bei längeren Wegstrecken zeigt es sich, daß bei diesem System kleine Winkelfehler sich zu immer größeren Lageabweichungen entwickeln, da es an einer Winkelkorrektur fehlt. Man benutzt daher zusätzlich eine Referenzierung durch bodeninstallierte Referenzmarken, insbesondere Magnetmarken oder Transponder.

Von einem fahrerlosen Transportsystem der zuvor erläuterten Art mit bodeninstallierten Referenzmarken geht die Erfindung aus (DE-C-42 32 171). Berücksichtigung für die odometrische Einrichtung kann bei einem solchen System

im übrigen der weitere Stand der Technik finden wie er sich aus vielen vorveröffentlichten Druckschriften ergibt (z. B. DE-C-30 00 031).

Bekannt ist auch ein fahrerloses Transportsystem, bei dem eine odometrische Einrichtung nicht vorgesehen ist. Bei diesem Transportsystem sind entlang der virtuellen Bezugsbahn in regelmäßigen und unregelmäßigen, jedoch ein Vielfaches des Fahrzeugradstandes betragenden Abständen Referenzmarken in Form von einzelnen diskreten, im Boden eingelassenen oder aufgeklebten Magnelementen angeordnet. Die Soll-Bahnkurve der virtuellen Bezugsbahn und die Koordinaten dieser Referenzmarken werden in einem raumfesten Koordinatensystem als Geometriedatensatz fahrzeugintern gespeichert. Mittels einer fahrzeuginternen Sensoranordnung wird die absolute Winkellage des Transportfahrzeugs im Raum anhand einer Abstandsmessung zwischen dessen Längsachse und den Mittelpunkten zweier aufeinander folgender, in erheblichem Abstand voneinander befindlicher Referenzmarken ermittelt. Aus dem ermittelten Seitenversatz an einer soeben überfahrenen Referenzmarke wird durch eine Transformation des Geometriedatensatzes eine Korrekturbahn ermittelt, die die nächste, in erheblichem Abstand befindliche Referenzmarke theoretisch trifft. Auf der Grundlage der so ermittelten Korrekturbahn werden Sollwerte zur Ansteuerung der Antriebseinrichtung und der Lenkeinrichtung gebildet.

Zur Kenntnis der Korrekturbahnen, die bei dem zuvor erläuterten, bekannten fahrerlosen Transportsystem ermittelt werden müssen, um das Transportfahrzeug auf die jeweils nächste Referenzmarke auszurichten, ist die Ermittlung des jeweils aktuellen Raumwinkels des Transportfahrzeuges erforderlich. Diese Ermittlung des absoluten Raumwinkels macht aber eine erhebliche Rechnerleistung erforderlich. Außerdem addiert sich ein erheblicher Integrationsfehler auf, da es keine entkoppelte Berechnung der tatsächlichen Position über eine odometrische Einrichtung im Transportfahrzeug gibt.

Das bekannte fahrerlose Transportsystem, von dem die Erfindung ausgeht (DE-C-42 32 171), hat zwar eine odometrische Einrichtung, die in Verbindung mit den Referenzmarken die zuvor geschilderten Anforderungen erfüllt, es erfolgt aber nur eine X/Y-Korrektur an jeder Referenzmarke, kein Winkelabgleich. Führt das Transportfahrzeug mit einem falschen Winkel über die Referenzmarke, so wird dieser Fehler nicht erkannt, das Fahrzeug fährt in der falschen Richtung weiter. Mit diesem Transportsystem kann man also z. B. den Transportfahrzeugen nicht erlauben, zur Vermeidung einer Kollision die Soll-Bezugsbahn zu verlassen.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein fahrerloses Transportsystem der in Rede stehenden Art so auszugestalten und weiterzubilden, daß es praktisch fehlerfrei, insbesondere auch mit Korrektur von Winkel Fehlern, arbeitet.

Die zuvor aufgezeigte Aufgabe ist bei einem fahrerlosen Transportsystem mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils von Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Wesentlich für die Lehre der Erfindung ist, daß an jeder Referenzmarke durch die beiden beabstandeten Referenzelemente eine kurze, gerade Referenzstrecke definiert wird, die zur Korrektur eines Winkelfehlers genutzt werden kann. Nach dem Überfahren des letzten Referenzelementes in einer Referenzmarke ist das Transportfahrzeug folglich in seiner Position und in seinem Winkel abgeglichen. Alle über den davor liegenden Freifahrabschnitt aufsummierten Fehler sind eliminiert. An jeder Referenzmarke steht das Trans-

portfahrzeug schließlich wieder in einer bekannten Position und in einem bekannten Winkel.

Wegen der zuvor erläuterten neuen Konzeption kann das Transportfahrzeug im Freifahrtabschnitt zwischen zwei Referenzmarken auch absichtlich von der virtuellen Bezugsbahn abweichen, beispielsweise um einem auf derselben Bezugsbahn entgegenkommenden Transportfahrzeug auszuweichen. Die Genauigkeit der odometrischen Einrichtung erlaubt die Rückkehr auf die virtuelle Bezugsbahn, wobei der zusätzlich auftretende, nicht vermeidbare Winkelfehler an der nächsten Referenzmarke eben erfindungsgemäß wieder vollständig beseitigt wird.

Je nach der Breite der Sensoranordnung, der Konfiguration der virtuellen Bezugsbahn zwischen zwei Referenzmarken und dem fahrzeugbezogen auftretenden Fehler kann der Abstand zwischen jeweils zwei Referenzmarken vergleichsweise groß werden. Aufgrund der erfindungsgemäßen Technik ist der an jeder Referenzmarke erfolgende Winkelabgleich sehr genau, beispielsweise mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1^\circ$.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Bei dieser Erläuterung wird gleichzeitig nochmals das Grundprinzip der Lehre der Erfindung beschrieben, außerdem werden besonders bevorzugte Ausführungsformen erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 das Grundprinzip des erfindungsgemäßen fahrerlosen Transportsystems anhand eines fahrerlosen Transportfahrzeuges auf einer skizzierten virtuellen Bezugsbahn mit Referenzmarken,

Fig. 2 eine Darstellung des Grundprinzips der Steuerung des Transportfahrzeugs nach Art eines Blockschaltbildes,

Fig. 3 eine Prinzipdarstellung einer Sensoranordnung.

Gegenstand der Erfindung ist ein fahrerloses Transportsystem zur Führung von fahrerlosen Transportfahrzeugen 1 in beliebiger Radkonfiguration entlang einer virtuellen Bezugsbahn 2. In Fig. 1 ist dabei das Transportfahrzeug 1 in durchgezogenen Linien mit vier Rädern 3 auf zwei virtuell vorhandenen Achsen dargestellt, von denen jeweils zwei Räder 3 angetrieben und zwei Räder 3 nicht angetrieben sind. Demgegenüber ist gestrichelt dargestellt eine Anordnung als Dreiradfahrzeug mit zwei Rädern 3, die angetrieben sind, und einem nicht angetriebenen, um seine Hochachse drehbaren Lenkrad 4. Den angetriebenen Rädern 3 sind in beiden Varianten separate Meßräder 5 zugeordnet, die mit nicht dargestellten Radinkrementalgebern hoher Genauigkeit ausgerüstet sind. Bei der in durchgezogenen Linien dargestellten Variante des Transportfahrzeugs 1 mit vier Rädern 3 sind jeweils die Meßräder 5 aktiviert, die den jeweils angetriebenen Rädern 3 zugeordnet sind. Die doppelte Ausrüstung dieses Transportfahrzeugs 1 mit Meßrädern 5 hat den Grund, daß dieses Transportfahrzeug 1 in beiden Fahrtrichtungen fahren können soll und dabei dann die Funktion der Räder 3 fahrtrichtungsbezogen umgeschaltet wird.

Transportfahrzeuge 1 der in Rede stehenden Art sind aus dem Stand der Technik, der eingangs erläutert worden ist, in verschiedenen Ausführungen bekannt, dort werden auch verschiedene Varianten für die Meßwerterfassung an den Meßrädern 5 oder an den gleichzeitig als Meßräder dienenden Rädern 3 erläutert.

Fig. 1 zeigt punktiert angedeutet die virtuelle Bezugsbahn 2, der das Transportfahrzeug 1 des fahrerlosen Transportsystems folgen soll. Jedes Transportfahrzeug 1 hat natürlich eine Antriebseinrichtung und eine Lenkeinrichtung, die auch als kombinierte Antriebs- und Lenkeinrichtung ausgeführt sein können, sowie eine elektronische Bahnsteuerung. Fig. 2 zeigt eine kombinierte Antriebs- und Lenkeinrichtung

6 sowie angedeutet die elektronische Bahnsteuerung 7.

Die virtuelle Bezugsbahn 2 zeigt als körperlich vorhandene Elemente bodeninstallierte Referenzmarken 8. Bodeninstallierte Referenzmarken 8 sind aus dem Stand der Technik gleichfalls umfangreich bekannt. Insbesondere bekannt sind optische Referenzmarken oder, hier bevorzugt, magnetische Referenzmarken. Hier sind entsprechende Hochleistungsmagnete mit einem Durchmesser von 10 bis 15 mm, insbesondere von 12 mm, einer Höhe von 3 bis 4 mm bekannt, die einen ausreichenden "Schaltabstand", nämlich einen Schaltabstand von 10 bis 20 mm sicherstellen. Dazu darf im einzelnen auf den den Ausgangspunkt bildenden Stand der Technik DE-C-42 32 171 oder auf die DE-C-39 11 054 verwiesen werden.

Angedeutet ist, daß die Referenzmarken 8 in erheblichem, jeweils ein Vielfaches des Fahrzeuggradstandes betragenden Abständen entlang der Bezugsbahn 2 angeordnet sind und so Freifahrtabschnitte 9 des Transportfahrzeugs 1 erheblicher Länge definieren. Diese Freifahrtabschnitte 9 können gerade oder gekrümmt oder aus geraden und gekrümmten Streckenabschnitten zusammengesetzt sein, wie das aus dem Stand der Technik ebenfalls bekannt ist.

Im Transportfahrzeug 1 ist eine Sensoranordnung 10 angeordnet, die die Referenzmarken 8 erfaßt und bedarfsweise, nämlich dann, wenn die Bahnsteuerung 7 eine Referenzmarke 8 erwartet, aktiviert wird. Diese Sensoranordnung 10 steht also mit der fahrzeuginternen elektronischen Bahnsteuerung 7 in Verbindung und erfaßt beim Überfahren der Referenzmarke 8 deren seitlichen Abstand zur Längsachse des Transportfahrzeugs 1 (Seitenversatz).

Das fahrerlose Transportfahrzeug 1 des erfindungsgemäßen Transportsystems weist ferner eine odometrische Einrichtung 11 auf, die mit der Bahnsteuerung 7 in Verbindung steht und die Ist-Lage des Transportfahrzeugs aus fahrzeugintern ermittelten Daten wie Radumdrehung etc. ermittelt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden die fahrzeugintern ermittelten Daten von den Radinkrementalgebern an den Meßrädern 5 bereitgestellt. Ein Steuerungsprogramm in der Bahnsteuerung 7 errechnet für jeden Freifahrtabschnitt 9 die notwendigen Sollwerte für Weg und Lenkwinkel, nach denen die Antriebseinrichtung und Lenkeinrichtung des Transportfahrzeugs 1 bzw. die kombinierte Antriebs- und Lenkeinrichtung 6 angesteuert wird.

Bislang entspricht die Konzeption des erfindungsgemäßen fahrerlosen Transportsystems noch im wesentlichen dem Stand der Technik.

Interessant ist in Fig. 1 nun, daß jede Referenzmarke 8 ihrerseits aus zwei diskreten, ungefähr entlang der virtuellen Bezugsbahn 2 angeordneten Referenzelementen 13, diese jeweils ausgeführt im dargestellten Ausführungsbeispiel als in den Boden eingelassene oder aufgeklebte Magnetelemente besteht. Jede einzelne Referenzmarke 8 besteht also aus mindestens zwei einzelnen, diskreten Referenzelementen 13, von denen jeweils eines im Stand der Technik eine Referenzmarke gebildet hatte. Diese paarweise Anordnung der Referenzelemente 13 je Referenzmarke 8 ist für die Lehre der Erfindung von besonderer Bedeutung. Der Abstand der Referenzelemente 13 einer Referenzmarke 8 untereinander ist klein gegen die Abstände der Referenzmarken 8 voneinander. Was das im Beispielfall heißt, wird nachher noch genauer erläutert.

Steuerungstechnisch ist es nun so, daß am ersten Referenzelement 13 einer Referenzmarke 8 der Seitenversatz ermittelt und mittels des Steuerungsprogramms der Bahnsteuerung unter Vergleich mit den von der odometrischen Einrichtung 11 ermittelten Daten eine entsprechende Lenkbewegung zur Korrektur des ermittelten Seitenversatzes vorgegeben wird. Bei einer separaten Lenkeinrichtung erfolgt

also ein geänderter Lenkeinschlag, bei dem dargestellten, bevorzugten Ausführungsbeispiel einer kombinierten Antriebs- und Lenkeinrichtung 6 erfolgt eine andere Ansteuerung der angetriebenen Räder 3 zur Erzielung einer entsprechenden Bogenfahrt.

Das zweite Referenzelement 13 der Referenzmarke 8 wird dann angefahren und dort wird erneut der Seitenversatz mittels der Sensoranordnung 10 ermittelt. Aus dem Seitenversatz am ersten Referenzelement 13 der Referenzmarke 8, dem Lenkkorrekturwert am ersten Referenzelement 13 und dem Seitenversatz am zweiten Referenzelement 13 der Referenzmarke 8 wird unter Vergleich mit den von der odometrischen Einrichtung 11 ermittelten Daten der Winkelfehler des Transportfahrzeugs 1 ermittelt und mittels des Steuerprogramms eine entsprechende Lenkbewegung zur Korrektur auch dieses Winkelfehlers vorgegeben. Die beiden Referenzelemente 13 der Referenzmarke 8 bilden definitionsgemäß eine kurze, gerade Linie, die eben auch eine Referenz für den Winkel, in dem sich das Transportfahrzeug 1 bewegt, gibt, so daß der Winkelfehler auf der Strecke zwischen den beiden Referenzelementen 13 einer Referenzmarke 8 eliminiert werden kann.

Nach Überfahren des zweiten Referenzelementes 13 der Referenzmarke 8 und Ausführen der Lenkkorrektur mittels des Steuerungsprogramms werden Weg und Winkel für das Transportfahrzeug auf "Null" gesetzt. Jetzt startet also das Transportfahrzeug 1 in den nächsten Freifahrtsabschnitt 9 wieder ohne jeden Positions- und Winkelfehler.

Bei der Lehre der Erfindung ist es nicht erforderlich, daß die Referenzelemente 13 der Referenzmarke ganz genau auf der virtuellen Bezugsbahn 2 liegen. Sie müssen nur eine im wesentlichen im Verlauf der virtuellen Bezugsbahn 2 liegende Referenzstrecke bilden. Deren genaue Lage kann vom Transportfahrzeug 1 bei einer Lernfahrt ermittelt und in Form von Solldaten für die odometrische Einrichtung 11 gespeichert werden. Man muß also bei der Positionierung der Referenzelemente 13 der Referenzmarken 8 noch nicht einmal besonders sorgfältig vorgehen.

Nach weiter bevorzugter Lehre der Erfindung ist vorgesehen, daß, wie Fig. 1 zeigt, jede Referenzmarke 8 ein weiteres, drittes Referenzelement 13 aufweist, das in etwa gleichem Abstand entlang der Bezugsbahn 2 angeordnet ist und etwa in einer Linie mit den anderen beiden Referenzelementen 13 der einen Referenzmarke 8 liegt. Beim Überfahren des dritten Referenzelementes 13 der Referenzmarke 8 erfolgt ein Feinabgleich des Lenkwinkels und erst nach dem Überfahren des dritten Referenzelementes 13 werden Weg und Winkel auf "Null" gesetzt.

Die Lage der Referenzelemente 13 der Referenzmarken 8 wird in einer Lernfahrt des Transportfahrzeugs 1 in Form von Soll-Daten der odometrischen Einrichtung 11 ermittelt und gespeichert. Anstatt die Lage der Referenzelemente 13 der Referenzmarken 8 in einer Lernfahrt zu ermitteln und zu speichern, können die entsprechenden X/Y-Koordinaten auch als vermessene Marken, z. B. über einen CAD-Rechner eingegeben werden.

Im dargestellten und bevorzugten Ausführungsbeispiel liegt der Abstand der Referenzelemente 13 einer Referenzmarke 8 untereinander in der Größenordnung des Fahrzeugradstandes oder etwas darüber, insbesondere zwischen etwa 0,5 und 2,0 m, vorzugsweise bei etwa 1,5 m. Demgegenüber liegt der Abstand der Referenzmarken 8 voneinander zwischen 10 und 30 m, vorzugsweise etwa zwischen 15 und 20 m.

Diese Bemessung der Freifahrtsabschnitte 9 ist natürlich von der Art des Geländes und der Art der Fahrtstrecke abhängig. Ein kompliziertes Gelände und eine komplizierte Streckenführung in einem Freifahrtsabschnitt 9 erfordern

eine geringere absolute Länge des Freifahrtsabschnittes 9, bei ganz unkomplizierten Streckenführungen können auch für einen Freifahrtsabschnitt 9 einmal 40 m oder mehr als Länge herauskommen.

Die Referenzierung für die Köppelnavigation wird erfindungsgemäß also mit der im dargestellten und bevorzugten Ausführungsbeispiel vorgesehen Dreierkette von Referenzelementen 13 in einer Referenzmarke 8 erreicht, wobei diese drei Referenzelemente 13 im wesentlichen in einer geraden Linie angeordnet sein sollten. Die Position der Referenzelemente 13 wird dem Transportfahrzeug 1 während der Lernfahrt bekannt gemacht. Bei der Referenzierung fährt das Transportfahrzeug 1 das erste Referenzelement 13 dieser Dreierkette der Referenzmarke 8 an und aktiviert in einem eingestellten Nahbereich die zwischen den hinteren Rädern 3 angeordnete Sensoranordnung 10. Am ersten Referenzelement 13 wird der Seitenversatz ermittelt und nach dieser Messung durch entsprechende Lenkbewegungen oder Vorgaben für die Antriebseinrichtungen der Räder 3 der Seitenversatz auf dem Weg zum zweiten Referenzelement 13 korrigiert. Dort kann dann der Winkelfehler aus dem neu gemessenen Seitenversatz ermittelt werden. Auch dieser wird durch entsprechende Lenkbewegungen korrigiert. Durch Anfahren des dritten Referenzelementes 13 kann noch ein Feinabgleich durchgeführt werden, obwohl dies dritte Referenzelement 13, wie weiter oben bereits erläutert, nicht unbedingt erforderlich ist, weil im Prinzip die Fehler bereits nach dem zweiten Referenzelement 13 komplett eliminiert sein sollten. Da in der Lernfahrt mit dem Transportfahrzeug 1 auch die einzelnen Wegstrecken vermessen werden, kann ein Vermessen der Referenzelemente 13 und der Referenzmarken 8 insgesamt bei der Einrichtung entfallen, weil eben das Transportfahrzeug 1 selbst als Meßsystem eingesetzt werden kann.

Auch bei der Freifahrt-Steuerung bietet die Lehre der Erfindung einige Besonderheiten. Zunächst ist vorgesehen, daß das Steuerungsprogramm für jeden Freifahrtsabschnitt 9 mehrere X/Y-Koordinaten gespeichert hat, die virtuelle Punkte der virtuellen Bezugsbahn 2 darstellen. Auf einer Freifahrtstrecke von 20 m Länge reichen 5 bis 10 solcher Koordinaten aus, d. h. der Speicherbedarf für die Bahnsteuerung 7 ist außerordentlich gering. Die Kurvenabschnitte hingegen gibt das Steuerungsprogramm nach einem Kurvenalgorithmus vor, ein Kurvenabschnitt verbindet jeweils zwei gerade Strecken- oder Wegabschnitte. Die jeweilige Geschwindigkeit des Transportfahrzeugs 1 gibt das Steuerungsprogramm nach einem Geschwindigkeitsalgorithmus vor, wobei nach bevorzugter Lehre der Geschwindigkeitsalgorithmus die Geschwindigkeit invers lenkwinkelabhängig vorgibt, bei großen Lenkwinkeln wird also langsamer gefahren als bei kleinen Lenkwinkeln, um die Sicherheit des Transportfahrzeugs 1 zu erhöhen und Fehler zu vermeiden.

Die odometrische Einrichtung 11 ist mit den zuvor schon erwähnten Radinkrementalgebern an einem rechten und einem linken Rad, insbesondere je einem separaten Meßrad 5 ausgerüstet und ermittelt die Ist-Wegstreckendaten aus der Hälfte der Summe und die Ist-Lenkwinkelndaten aus der Differenz der Meßwerte der beiden Radinkrementalgeber. Das gilt für das dargestellte und bevorzugte Ausführungsbeispiel, bei dem dementsprechend ein echter Lenkwinkel im klassischen Sinne nicht eingestellt wird, sondern nur Drehzahl Differenzen zur Kurvenbewegung des Transportfahrzeugs 1 führen.

Wie im einzelnen die Radinkrementalgeber für die odometrische Einrichtung 11 ausgeführt sind, das kann dem Stand der Technik entnommen werden. Hier gibt es eine Vielzahl von Alternativen, die überwiegend handelsüblich

sind.

Im Algorithmus für die Kurvenfahrt werden zwei gerade Wegabschnitte im dargestellten und bevorzugten Ausführungsbeispiel mit einem Kreisbogen verbunden, dessen Radius frei eingestellt werden kann. Damit kann man vom Steuerungsprogramm her den unterschiedlichsten Anforderungen an das Gelände und die Art des Transportfahrzeugs 1 entsprechen. Eine entsprechend freie Wahl gilt auch für die Geschwindigkeit des Transportfahrzeugs 1.

Mit dem erfindungsgemäßen fahrerlosen Transportsystem können beliebig lange und beliebig verzweigte Bezugsbahnen realisiert werden. Voraussetzung dafür ist lediglich die Anbringung der Referenzmarken 8 am Boden in den erläuterten großen Abständen zur Bildung der Freifahrtabschnitte 9, der Aufbau jeder einzelnen Referenzmarke 8 aus mehreren einzelnen Referenzelementen 13, die im wesentlichen in einer Linie angeordnet sind, aber nur einen geringen Abstand voneinander haben, und die Durchführung einer oder mehrerer Lernfahrten auf den entsprechenden Strecken. Mit einer leistungsfähigen Sensoranordnung 10 kann eine Referenzierung mit einem Winkelfehler unter $0,1^\circ$ erreicht werden. Dies entspricht einem Positionsfehler während einer nicht gestützten Freifahrt des Transportfahrzeugs 1 über eine Strecke von 10 m von ca. 3,5 cm. Das alles erreicht man ohne raumfeste Koordinaten oder eine raumbezogene Messung und ohne Einsatz einer Laser-Referenzierung oder eines Kreisel.

Bei dem im Stand der Technik bekannten Transportfahrzeug 1 ist bereits eine besondere Sensoranordnung 10 vorgesehen, nämlich in Form einer quer zur Längsachse des Transportfahrzeugs 1 angeordneten Leiste aus einer Vielzahl von Reed-Kontakten 14. Im einzelnen wird im Stand der Technik erläutert, warum Reed-Kontakte 14 für diese Sensoranordnung 10 in Verbindung mit Magnetelementen im Boden besonders effektiv sind. Nach Herstellerangaben sind die Reed-Kontakte 14 der Sensoranordnung 10 im wesentlichen parallel zum Boden auszurichten, weil sie dort die höchste Ansprechempfindlichkeit haben. Erfindungsgemäß ist jedoch erkannt worden, daß ein Problem darin besteht, daß bei einer solchen Anordnung die Reed-Kontakte zwei Schaltpunkte haben. Dementsprechend ist erfindungsgemäß eine andere Anordnung der Reed-Kontakte 14 der Sensoranordnung 10 vorgesehen, nämlich dergestalt, daß die Reed-Kontakte 14 der Sensoranordnung 10 senkrecht zum Boden, auf dem das Transportfahrzeug 1 fährt, ausgerichtet sind. Dann gibt es nur einen Schaltpunkt.

Nach einer bevorzugten Lehre ist vorgesehen, daß insgesamt ca. 100 bis 150, vorzugsweise etwa 130 Reed-Kontakte 14 im Rastermaß von 2,0 bis 3,0 mm angeordnet sind. Das hat eine wirksame Breite der Sensoranordnung 10 von 25 bis 45 cm, vorzugsweise von etwa 35 cm, zur Folge. Diese Maße sind auf ein Transportfahrzeug 1 abgestellt, das in Innenbereichen auch auf schmalen Bezugsbahnen 2 fahren kann.

Fig. 3 zeigt die genaue Schaltungsanordnung für die erfindungsgemäß senkrecht zum Boden angeordneten Reed-Kontakte 14, die von verblüffender Einfachheit sein kann. Vorgesehen ist, daß die zum Boden gerichteten Anschlüsse der Reed-Kontakte 14 an eine gemeinsame Sammelschiene 15 angeschlossen sind, daß die vom Boden weggerichteten Anschlüsse der Reed-Kontakte 14 jeweils an Abgriffe einer Widerstands-Reihenschaltung 16 angeschlossen sind, daß dem letzten Reed-Kontakt 14 ein Widerstand 17 parallel geschaltet ist und daß das Meßsignal der Sensoranordnung 10 zwischen den offenen Enden 18 der Sammelschiene 15 und der Widerstands-Reihenschaltung 16 abgegriffen wird.

Durch den zuvor erläuterten Aufbau realisiert man ein Zweileitertechnik und eine äußerst empfindliche Signalver-

arbeitung. Beim Überfahren eines Referenzelementes 13 schalten stets mehrere nebeneinanderliegende Reed-Kontakte 14. Während des Überfahrens eines Referenzelementes 13 zeigt sich ein genau reproduzierbarer Verlauf der Schaltzustände der Reed-Kontakte 14. Durch Anwendung relativ einfacher statistischer Auswerteverfahren mit Mittelwertbildung läßt sich eine vorzügliche Genauigkeit erreichen. Versuche haben ergeben, daß, mit der zuvor geschilderten, besonders bevorzugten Anordnung von Reed-Kontakten 14 eine Auflösung erreicht werden kann, die höher ist als sie dem Abstand der Reed-Kontakte 14 voneinander entspricht.

Von Seiten der Auswertelektronik her hat es sich gezeigt, daß die Bahnsteuerung 7 zweckmäßigerweise einen Mikrocontroller in Verbindung mit externen Zählern für die fahrzeuginternen Daten aufweisen sollte. Durch den Einsatz externer Zähler kann die Navigation im erfindungsgemäßen fahrerlosen Transportsystem mit Hochleistungsprozessoren, beispielsweise einem 8bit-Prozessor durchgeführt werden. Vorteilhaft für die Konzeption der Zähler ist es, daß nach erfolgter Referenzierung die Zähler jeweils wieder auf "Null" gesetzt werden können, die maximal vom Zähler zu erfassende Strecke ist also auf einen Freifahrtabschnitt zuzüglich eines entsprechenden Sicherheitsfaktors begrenzt. Das ist grundlegend anders als bei Konzepten für fahrerlose Transportsysteme, die die gesamte zu fahrende Strecke, also die gesamte virtuelle Bezugsbahn 2 in Speichern ablegen.

Generell gilt auch für das erfindungsgemäße fahrerlose Transportsystem, daß die aus dem Stand der Technik bekannten Techniken außerhalb der eigentlichen Navigation einzusetzen sind. Hier handelt es sich insbesondere um die Kommunikation der fahrerlosen Transportfahrzeuge miteinander und mit einem übergeordneten Leitsystem (induktive Datenübertragung, Infrarot, Funk, gegebenenfalls mit eigenen Kameras in den Transportfahrzeugen) und um den Bereich der Energieversorgung. Wesentlich sind auch entsprechende Sicherheitseinrichtungen wie Notastaster, Warnblinkleuchten, Auffahrbügel, Hinderniserkennung, Notstopanordnungen und Notstopprogramme, Abstands-Sensoren etc. Dafür darf insgesamt auf den Stand der Technik verwiesen werden, hier gibt es ja eine Vielzahl von Varianten.

Patentansprüche

1. Fahrerloses Transportsystem zur Führung von fahrerlosen Transportfahrzeugen (1) beliebiger Radkonfiguration entlang einer virtuellen Bezugsbahn (2), wobei jedes Transportfahrzeug (1) eine Antriebseinrichtung, eine Lenkeinrichtung oder eine kombinierte Antriebs- und Lenkeinrichtung (6), sowie eine elektronische Bahnsteuerung (7) aufweist, mit bodeninstallierten Referenzmarken (8), die in erheblichem, jeweils ein Vielfaches des Fahrzeuggradstandes betragenden Abständen entlang der Bezugsbahn (2) angeordnet sind und so Freifahrtabschnitte (9) des Transportfahrzeuges (1) definieren, mit einer im Transportfahrzeug (1) angeordneten Sensoranordnung (10) für die Referenzmarken (8); die mit der fahrzeuginternen elektronischen Bahnsteuerung (7) in Verbindung steht, wobei die Sensoranordnung (10) beim Überfahren der Referenzmarke (8) deren seitlichen Abstand zur Längsachse des Transportfahrzeugs (1), also einen entsprechenden Seitenversatz erfaßt, mit einer odometrischen Einrichtung (11) im Transportfahrzeug (1), die mit der Bahnsteuerung (7) in Verbindung steht und die Ist-Lage der Transportfahrzeugs (1) aus fahrzeugintern ermittelten Daten wie Radum-

drehungen o. dgl. ermittelt, mit einem Steuerungsprogramm in der Bahnsteuerung (7), das für jeden Freifahrtabschnitt (9) die notwendigen Sollwerte für Weg und Lenkwinkel errechnet, nach denen die Antriebseinrichtung und die Lenkeinrichtung oder die kombinierte Antriebs- und Lenkeinrichtung (6) des Transportfahrzeugs (1) angesteuert werden bzw. wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Referenzmarke (8) ihrerseits aus zwei diskreten, ungefähr entlang der Bezugsbahn (2) angeordneten Referenzelementen (13), insbesondere in Form von in den Boden eingelassenen oder aufgeklebten Magnetelementen besteht, daß der Abstand der Referenzelemente (13) einer Referenzmarke (8) untereinander klein gegen die Abstände der Referenzmarken (8) voneinander ist, daß am ersten Referenzelement (13) einer Referenzmarke (8) der Seitenversatz ermittelt und mittels des Steuerungsprogramms unter Vergleich mit den von der odometrischen Einrichtung (11) ermittelten Daten eine entsprechende Lenkbewegung zur Korrektur dieses Seitenversatzes vorgegeben wird, daß das zweite Referenzelement (13) der Referenzmarke (8) angefahren und dort erneut der Seitenversatz ermittelt wird, daß aus dem Seitenversatz am ersten Referenzelement (13), dem Lenkkorrekturwert am ersten Referenzelement (13) und dem Seitenversatz am zweiten Referenzelement (13) unter Vergleich mit den von der odometrischen Einrichtung (11) ermittelten Daten der Winkelfehler des Transportfahrzeugs (1) ermittelt und mittels des Steuerungsprogramms eine entsprechende Lenkbewegung zur Korrektur des Winkelfehlers vorgegeben wird und daß nach Überfahren des zweiten Referenzelementes (13) der Referenzmarke (8) und Ausführen der Lenkkorrektur mittels des Steuerungsprogramms Weg und Winkel auf "Null" gesetzt werden.

2. Transportsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jede Referenzmarke (8) ein weiteres, drittes, in etwa gleichem Abstand entlang der Bezugsbahn (2) angeordnetes und etwa in einer Linie mit den ersten beiden Referenzelementen (13) ausgerichtetes Referenzelement (13) aufweist, beim Überfahren des dritten Referenzelementes (13) ein Feinabgleich des Lenkwinkels erfolgt und erst nach dem Überfahren des dritten Referenzelementes (13) Weg und Winkel auf "Null" gesetzt werden.

3. Transportsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Referenzelemente (13) der Referenzmarken (8) in einer Lernfahrt des Transportfahrzeugs (1) in Form von Soll-Daten der odometrischen Einrichtung (11) ermittelt und gespeichert werden.

4. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand der Referenzelemente (13) einer Referenzmarke (8) untereinander in der Größenordnung des Fahrzeuggradstandes oder etwas darüber liegt.

5. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand der Referenzelemente (13) einer Referenzmarke (8) etwa 0,5 bis 2,0 m, vorzugsweise etwa 1,5 m beträgt.

6. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand der Referenzmarken (8) voneinander zwischen 10 m und 30 m, vorzugsweise zwischen 15 m und 20 m beträgt.

7. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die odometrische Einrichtung (11) mit Radinkrementalgebern an einem rechten und einem linken Rad, insbesondere je einem separaten Meßrad (5), ausgerüstet ist und die Ist-Wegstreckendaten aus der Hälfte der Summe und die Ist-Lenkwinkeldaten aus der Differenz der Meßwerte beider Radinkrementalgeber ermittelt.

8. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuerungsprogramm für jeden Freifahrtabschnitt (9) mehrere X/Y-Koordinaten gespeichert hat, die virtuelle Punkte der virtuellen Bezugsbahn (2) darstellen, und die Kurvenabschnitte zur Verbindung von jeweils zwei geraden Wegabschnitten nach einem Kurvenalgorithmus vorgibt.

9. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuerungsprogramm die jeweilige Geschwindigkeit des Transportfahrzeugs (1) nach einem Geschwindigkeitsalgorithmus vorgibt.

10. Transportsystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Geschwindigkeitsalgorithmus die Geschwindigkeit invers lenkwinkelabhängig vorgibt.

11. Transportsystem nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 und vorzugsweise auch dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 sowie gegebenenfalls einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 10, wobei die Sensoranordnung (10) als quer zur Längsachse des Transportfahrzeugs (1) angeordnete Leiste aus einer Vielzahl von Reed-Kontakten (14) ausgeführt ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Reed-Kontakte (14) der Sensoranordnung (10) senkrecht zum Boden, auf dem das Transportfahrzeug (1) fährt, ausgerichtet sind.

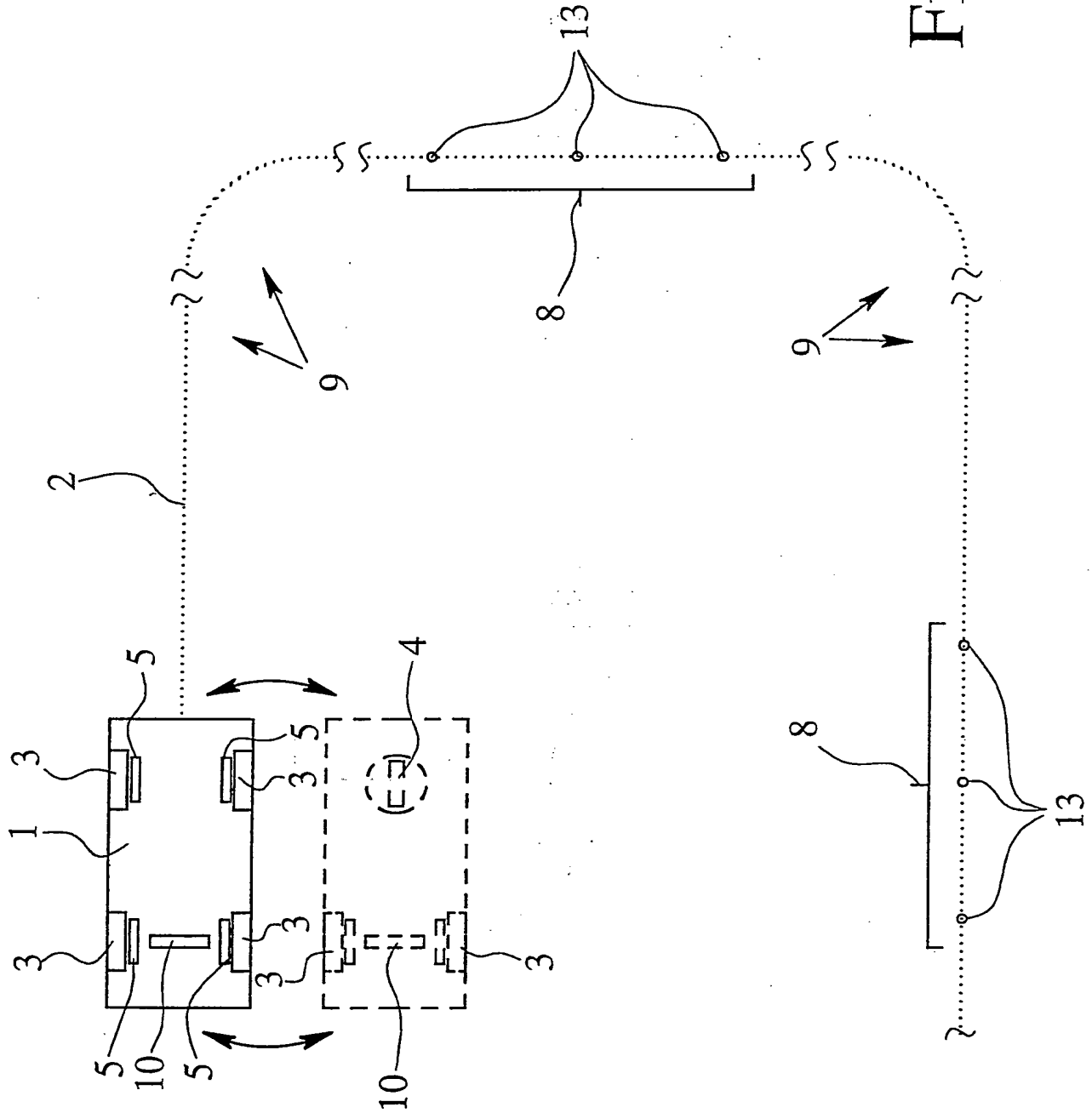
12. Transportsystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß insgesamt ca. 100 bis 150, vorzugsweise etwa 130 Reed-Kontakte (14) im Raster von 2,0 bis 3,0 mm angeordnet sind.

13. Transportsystem nach Anspruch 11 und gegebenenfalls Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Boden gerichteten Anschlüsse der Reed-Kontakte (14) an eine gemeinsame Sammelschiene (15) angeschlossen sind, daß die vom Boden weggerichteten Anschlüsse der Reed-Kontakte (14) jeweils an Abgriffe einer Widerstands-Reihenschaltung (16) angeschlossen sind, daß dem letzten Reed-Kontakt (14) ein Widerstand (17) parallel geschaltet ist und daß das Meßsignal der Sensoranordnung (10) zwischen den offenen Enden der Sammelschiene (15) und der Widerstands-Reihenschaltung (16) abgegriffen wird.

14. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 13, insbesondere nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoranordnung (10) eine wirksame Breite von 25 bis 45 cm, insbesondere von etwa 35 cm aufweist.

15. Transportsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Bahnsteuerung (7) einen Mikrocontroller in Verbindung mit externen Zählern für die fahrzeuginternen Daten aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

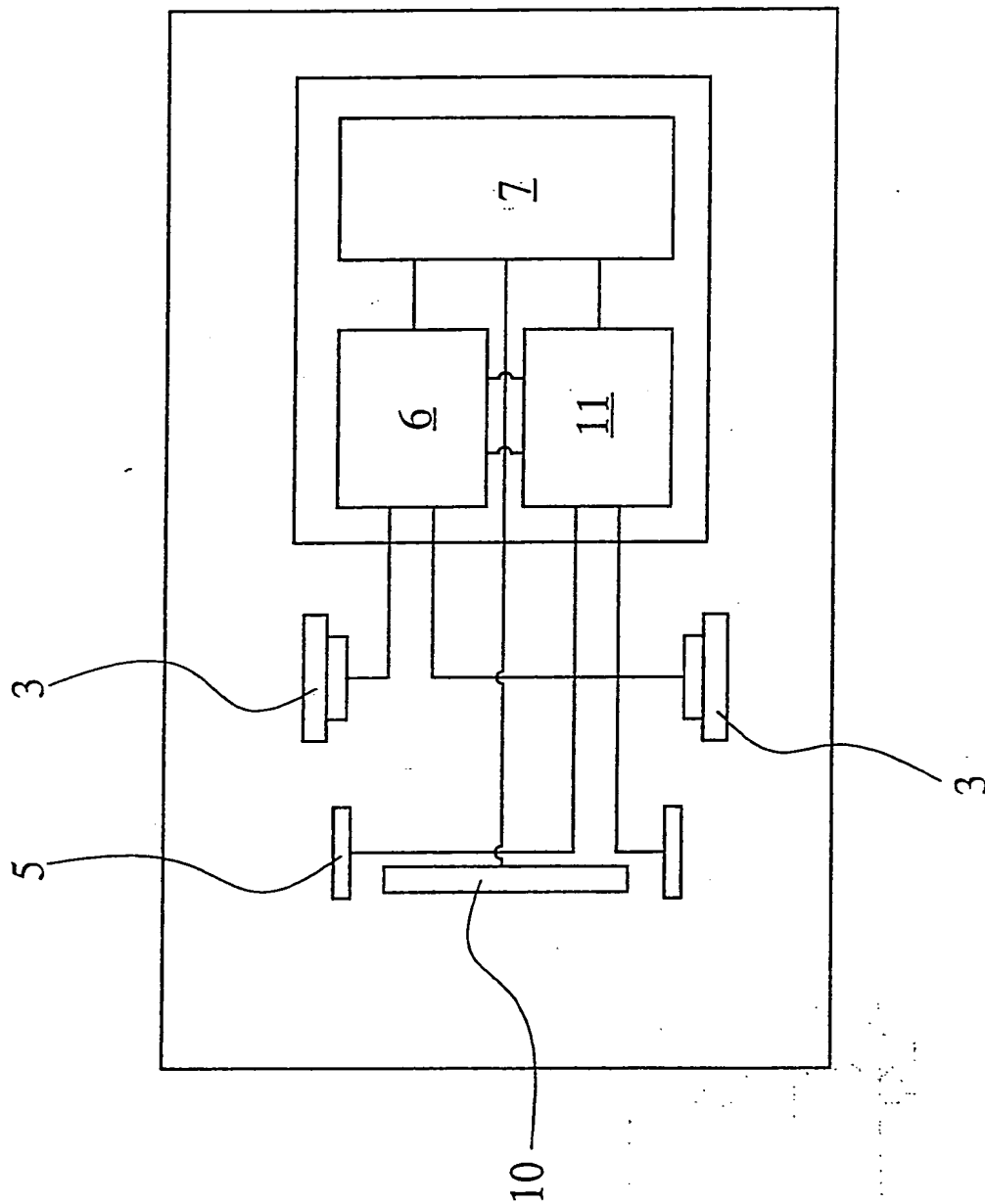


Fig. 2

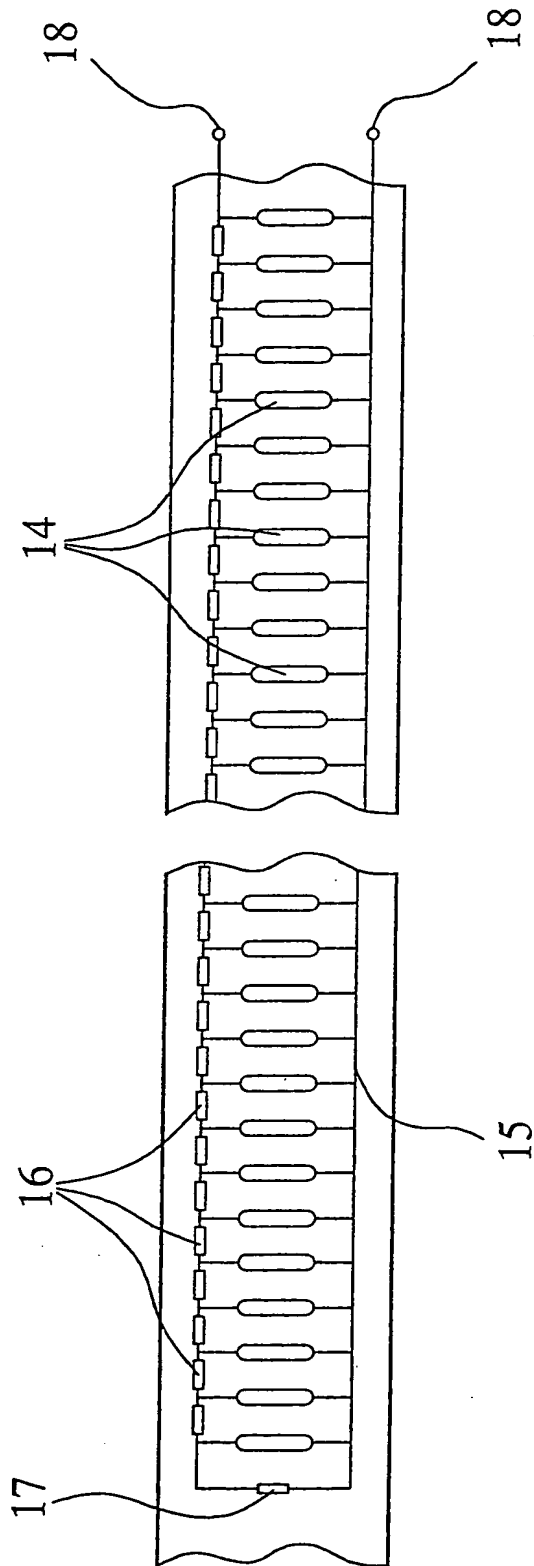


Fig. 3